

згоряння. ККД цих котлів у розрахунку на нижчу теплоту згоряння — понад 100%, на вищу — 95–96%. Використання такого котла дало змогу інституту в 2,5 раза зменшити фінансові витрати на опалення основного майданчика порівняно з отриманням тепла від районної котельні.

Істотні резерви економії газу є у виробництві будівельних матеріалів, цементу, а також у будівництві — завдяки використанню високоякісних теплоізоляційних матеріалів.

Загалом нафтогазовий комплекс України має достатній ресурсний, матеріальний, кадровий, науково-технічний потенціали для виконання поставлених перед ним завдань\*.

\* При підготовці доповіді використано матеріали департаментів Національної акціонерної компанії «Нафтогаз України», дочірніх компаній ДК «Укргазвидобування», ДК «Укртрансгаз», ДП «Науканафтогаз», ДАТ «Чорноморнафтогаз», Національної академії наук України, проектних організацій, незалежних експертів, за що доповідач висловлює їм щире подяку.

## ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ЗВАРЮВАННЯ ТА ДІАГНОСТИКИ ТРАНСПОРТНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

**С.І. КУЧУК-ЯЦЕНКО, академік НАН України,  
Л.М. ЛОБАНОВ, академік НАН України**

Перспективи розвитку енергетики України багато в чому визначаються станом нафто- і газотранспортної системи. Слід зазначити, що в країні за історично короткий термін було створено унікальні за протяжністю і продуктивністю магістральні трубопроводи для транспортування природного газу, нафти і продуктів їхньої переробки.

Газотранспортна система України, зокрема магістральні газопроводи і газопроводи відгалуження, має сумарну довжину 35 тис. км, а транспортування нафти здійснюється магістральними трубопроводами завдовжки 4,6 тис. км. Однак майже половина з них експлуатується 25 років і більше. Значна частина магістральних трубопроводів відпрацювала свій розрахунковий ресурс. Тому актуальною проблемою є оцінка технічного стану і залишкового ресурсу вітчизняних нафто- і газотранспортних систем.

Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України виконує широке коло досліджень і розробок у галузі зварювання та

діагностики магістральних нафто- і газопроводів.

Розвиток високопродуктивних систем трубопроводного транспорту, передусім підвищення тиску продукту, що транспортується, до 10 МПа і більше, необхідність забезпечення високої надійності їх експлуатації актуалізують питання виробництва труб нового покоління, з поліпшеними службовими характеристиками. Окрім підвищеної міцності і товщини стінки, до таких труб висуваються істотно жорсткіші вимоги щодо в'язкості металу, його структурно-фазового стану, вмісту шкідливих домішок, забрудненості неметалічними включеннями. Задовольнити ці вимоги можна шляхом підвищення якості використовуваного листового прокату. Наукові і технологічні розробки, їх упровадження у процес виготовлення трубних сталей на металургійних заводах України значною мірою допомогли розв'язати це завдання. «Харцизький трубний завод» за участю ІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України й інших організацій випустив дослідні



Рис. 1. П'ятидугове зварювання під флюсом

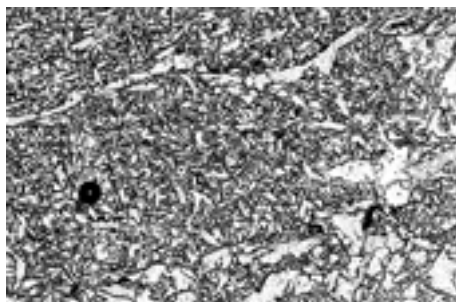
партії й освоїв виробництво труб, стінки яких завтовшки до 25,8 мм, зокрема зі сталі класу міцності К65, що відповідає сталі Х80. Ці труби призначені для потужних газогонів, де робочий тиск газу 10 МПа.

Виробництво труб з підвищеними експлуатаційними характеристиками потребує застосування нових, перспективних технологій зварювання. З цією метою інститут розробив технологію п'ятидугового зварювання під флюсом. Це дає змогу одержувати по-

здовжні шви труб зі стінкою завтовшки до 50 мм за два проходи, забезпечуючи високі показники механічних властивостей і якості зварних з'єднань (рис. 1).

Диспропорція показників холодо- і тріщиностійкості основного металу і зварних з'єднань, що виникла у процесі виробництва труб нового покоління, усувається за рахунок розробки і застосування нових зварювальних матеріалів. На рис. 2 показано формування у металі шва сприятливої структури голчастого фериту за використання для багатодугового зварювання труб алюмінатно-основних флюсів. Поєднання флюсу цього типу з дротом, легованим титаном і бором, дає змогу за оптимального їх вмісту отримати структуру голчастого фериту з високим кутом розорієнтації та ударною в'язкістю металу понад 100 Дж/см<sup>2</sup> при мінус 20 °С.

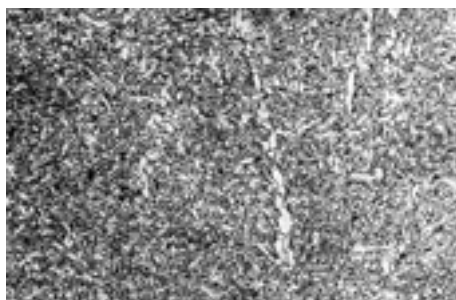
Найближчим завданням у галузі технології зварювання труб для високопродуктивних трубопроводів є організація промислового виробництва нових зварювальних матеріалів.



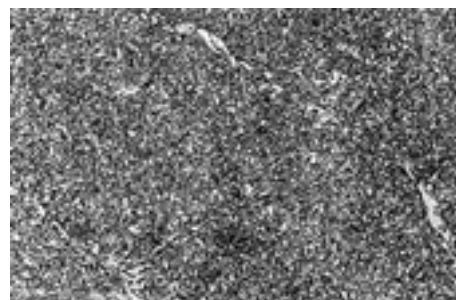
*a*



*б*



*б*



*z*

Рис. 2. Структура металу швів при зварюванні трубної сталі К60 (Х70): *a* – кислий флюс; *б* – флюс нейтрального типу; *в* – флюс з основністю 1,3; *z* – флюс з основністю 1,5

Одна з актуальних проблем будівництва і ремонту трубопроводів для транспортування нафти і газу — це механізація зварювання неповоротних стиків. Нестабільність геометричних розмірів стиків труб і забезпечення якості зварних швів потребують застосування потужної і важкої техніки, що не завжди можливо через обмеженість робочого простору. Це зумовлює необхідність створення малогабаритного мобільного обладнання, яке можна доставити на робоче місце ручним способом, і технологій зварювання, що дають якісне формування швів за одностороннього зварювання без підкладок.

Розроблено технологію механізованого зварювання неповоротних стиків трубопроводів. Вона передбачає виконання корневих швів аргонно-дуговим зварюванням неплавким електродом з активуючим флюсом. Це забезпечує отримання якісного кореневого шва без підкладки, його товщина змінюється від 2,5 до 5 мм.

Заповнювальні проходи виконуються плавким дротом суцільного перетину в захисних газах або порошковим дротом з примусовим формуванням шва. Вже розроблено дослідні зразки відповідного обладнання для реалізації цих технологій і визначено режими технологічних процесів.

Контактне стикове зварювання широко практикується під час прокладання трубопроводів різного призначення на території країн СНД. Усього цим способом зварено понад 70 тис. км трубопроводів, зокрема в умовах Сибіру і Крайньої Півночі, де він використовується і сьогодні.

ВІЕЗ ім. Є.О. Патона НАН України тривають роботи з удосконалення технології та обладнання для контактнo-стикoвого зварювання (рис. 3). Основні напрями досліджень передбачають:

- поліпшення технології з метою зниження потужності джерел живлення і підвищення продуктивності;
- створення технології зварювання труб з високоміцних сталей, зокрема Х80, Х100 з товщиною стінки до 30 мм;

- розробку нового покоління обладнання, що відрізняється високою маневреністю і механізацією допоміжних операцій;
- створення систем автоматичного ультразвукового контролю з'єднань, виконаних зварюванням тиском.

Лазерне зварювання має багато переваг порівняно з традиційними зварювальними технологіями. У розвинених країнах уже розпочато дослідницькі роботи з метою застосування цієї технології для зварювання поздовжніх швів у процесі виготовлення труб і кільцевих швів — під час прокладання магістральних трубопроводів. Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона пропонує як лазерне, так і гібридне лазерно-дугове зварювання для розв'язання цих завдань. Застосування гібриду лазерного випромінювання і дугового зварю-

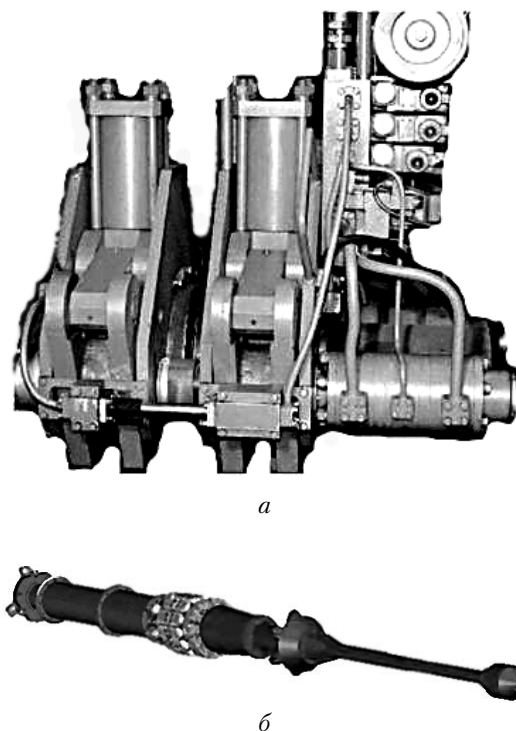


Рис. 3. Нове покоління устаткування для контактнo-стикoвого зварювання трубопроводів: а — машина для зварювання трубопроводів Ж 114–219 мм (вага 2 т, потужність 100 кВА); б — внутрішньотрубна машина К1006 для зварювання труб Ж 1420 мм з товщиною стінки 22 мм (вага 16 т, потужність 600 кВА)

вання плавким електродом різко збільшує продуктивність процесу і зменшує погонну енергію зварювання, що сприяє зниженню деформацій, підвищенню міцності й ударної в'язкості з'єднань (рис. 4).

Зниження надійності систем магістральних трубопроводів у процесі їх тривалої експлуатації може пояснюватися старінням матеріалу, накопиченням корозійно-ерозійних, втомних ушкоджень, розвитком технологічних й експлуатаційних дефектів.

Однією з важливих причин передчасного вичерпування несучої здатності трубопроводів за високих тиску, температури і швидкості є зношення внутрішньої поверхні під впливом механічних й електрохімічних про-

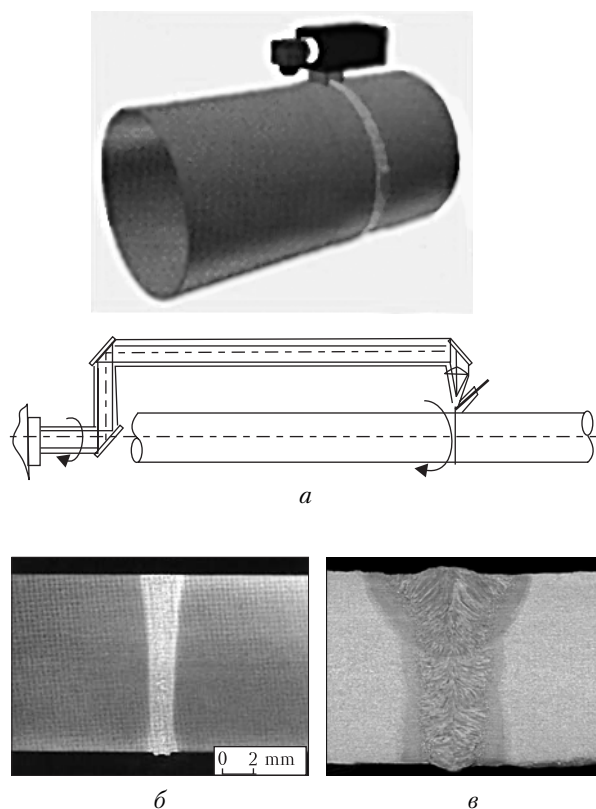


Рис. 4. Лазерне зварювання кільцевих швів магістральних трубопроводів: а — схеми орбітального зварювання; б — макроструктура шва, отриманого однопрохідним лазерним зварюванням; в — макроструктура шва, утвореного чотирипрохідним лазерно-дуговим зварюванням

цесів. За результатами досліджень розроблено принципово новий підхід до оцінки міцності ділянок трубопроводів з такими ушкодженнями. Він базується на теоретичній та експериментальній залежності, що характеризують розміри глибини і довжини зони ушкодження, за яких забезпечується розрахункова міцність трубопроводів. Побудовані діаграми дають змогу визначати граничні розміри зони корозійних ушкоджень на внутрішній поверхні труби.

Щодо забезпечення надійності магістральних трубопроводних систем транспорту нафти і газу здійснено комплексні дослідження властивостей основного металу і зварних з'єднань після тривалих термінів експлуатаційного навантаження. Доведено, що для низьколегованих трубних сталей тривала експлуатація практично не спричинює зміну властивостей матеріалу. Разом із тим деформаційне старіння трубних сталей може значно погіршити службові характеристики металу трубопроводів і в'язкості металу під час його зміцнення (рис. 5). Проте, як свідчать результати досліджень, за експлуатації трубопроводу приблизно 40 років негативних наслідків деформаційного старіння слід очікувати здебільшого на ділянках холодної деформації труби і в зонах дефектів. Перетворення через деформаційне старіння трубної сталі на міцніший матеріал зі зниженими пластичністю і в'язкістю стимулює розробку труб з особливими технічними характеристиками для окремих ділянок магістральних трубопроводів.

На зміну властивостей металу істотно впливає пластична деформація. Вона може виникати в зонах конструктивних концентраторів напружень (місця зварювання трійників, відведень), різного роду дефектів, змін геометрії труби. Результати дослідження впливу на в'язкість руйнування пластичної деформації розтягування  $\epsilon_1$  і стиснення  $\epsilon_2$  металу труб наведено в таблиці. В'язкість руйнування трубних сталей після пластич-

ної деформації істотно зменшується. Найнижчі значення в'язкості руйнування зафіксовані на зразках, що імітують точкові механічні ушкодження металу труб — вм'ятини з неглибокими поверхневими надривами.

Підтримувати працездатність трубопроводних систем найраціональніше за допомогою визначення поточного технічного стану їхніх елементів засобами технічної діагностики, з подальшою заміною компонентів, які не відповідають заданому рівню надійності. З цією метою академічними інститутами електрозварювання та проблем міцності спільно з низкою організацій нафтогазового комплексу країни розроблено типову методику комплексного обстеження і діагностики лінійної частини магістральних трубопроводів. Вона ґрунтується на нових інформаційних технологіях. Основними елементами цієї методики є:

- підготовка та аналіз початкових властивостей і формування банку даних;
- обстеження трубопроводу із залученням сучасних методів діагностики;
- оцінка міцності і залишкового ресурсу трубопроводу;
- ранжирування дефектних ділянок за ступенем їх небезпечності і розробка рекомендацій з методів та черговості виконання ремонтних робіт.

Враховуючи тривалий термін експлуатації головних систем магістральних газонафтопроводів, обсяги їхньої діагностики й оцінки технічного стану, зокрема із залученням роз-

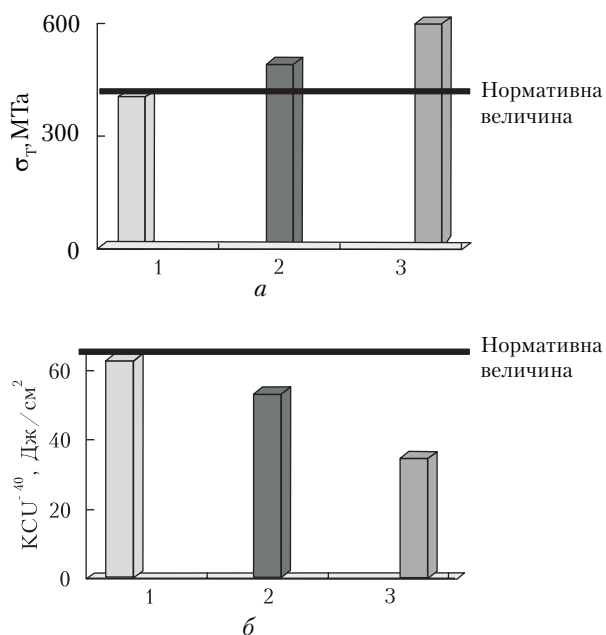


Рис. 5. Стан металу трубопроводів: а — зміна межі текучості; б — зміна ударної в'язкості; 1 — резервна труба; 2 — після експлуатації протягом 40 років; 3 — внаслідок штучного старіння

роблених методичних підходів, слід істотно збільшити.

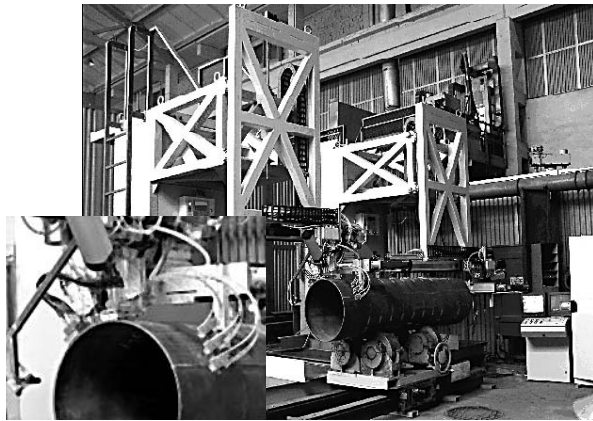
Створена електрохімічна мікропроцесорна система корозійного моніторингу магістральних трубопроводів, яка дає змогу визначати електрохімічний потенціал трубопроводу, місця ушкодження захисного покриття, швидкість корозії металу труби в зоні дефектів захисного покриття. Така система застосовувалася для обстеження магістральних газопроводів «Уренгой—Помари—Ужгород», «Прогрес», «Союз» і газопроводу-відведення

#### Вплив локальних пластичних деформацій, мм

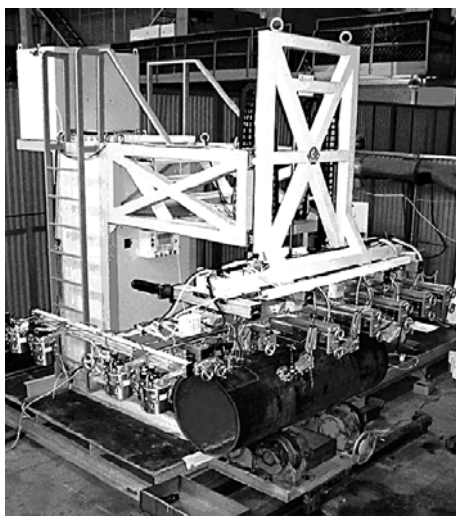
Марка сталі	δ <sub>k</sub> , мм	Розтягування, ε <sub>1</sub> %				Стиснення, ε <sub>2</sub> %		
		0	5	10	15	0	10	20
17Г1С	δ <sub>i</sub>	0,13	0,11	0,09	0,08	0,20	0,11	0,04
	δ <sub>m</sub>	0,38	0,23	0,11	0,09	0,25	0,21	0,08
10Г2БТ	δ <sub>i</sub>	0,24	0,15	0,10	0,09	0,23	0,21	0,09
	δ <sub>m</sub>	0,34	0,21	0,17	0,17	0,31	0,25	0,12

Примітка. δ<sub>i</sub> — на стадії ініціації в'язкої тріщини; δ<sub>m</sub> — на стадії переходу тріщини у нестабільний стан.

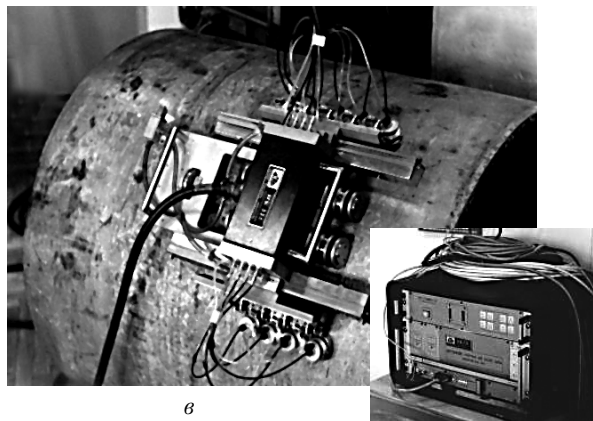




*a*



*б*



*в*

*Рис. 6.* Нове покоління автоматизованих установок для ультразвукового контролю якості зварних труб: *a* — НК362 для торців труб; *б* — НК 360 — для поздовжнього зварного шва труб Ж 508-1420 мм з товщиною стінки 7–50 мм; *в* — НК 321 — для кільцевих зварних швів труб

«Іванків—Зелений Мис—Чорнобиль» діаметром 325 мм і протяжністю 75 км.

Корозійний моніторинг за допомогою електрохімічної мікропроцесорної системи на небезпечних ділянках газопроводів дозволяє оцінювати технічний стан металу труби під захисним покриттям і прогнозувати залишковий ресурс трубопроводів. Підвищення їх надійності і довговічності тісно пов'язане з удосконаленням методів та засобів неруйнівного контролю якості.

Створено нове покоління автоматизованих ультразвукових установок для контролю різних типів зварних труб нафтового і газового сортаменту. Як приклад на рис. 6, *a* показано установку для автоматизованого ультразвукового контролю кінцевих ділянок труб діаметром до 1420 мм і товщиною стінки 7–50 мм. Вона призначена для прозвучування по периметру кінців труб за всією товщиною стінки і дає змогу виявляти дефекти таких типів: на зразок «розшарування» і поздовжньо орієнтовані «тріщини».

Розроблена установка для автоматизованого ультразвукового контролю поздовжніх зварних швів труб з такими самими діаметрами і товщиною стінки (рис. 6, *б*). Вона призначена для прозвучування зварного шва з обох боків за всією товщиною стінки труби і допомагає виявляти різноорієнтовані дефекти, як-от тріщини, «пори», шлакові вclusions, непровари за умов масового виробництва труб. Установка забезпечена системою лазерного стеження за валиком посилення зварного шва у комплексі з промисловим комп'ютером.

Науковці ІЕЗ створили установку для автоматизованого ультразвукового контролю кільцевих зварних з'єднань трубопроводів (рис. 6, *в*). З її допомогою виявляють у шві та біляшовній зоні несучільності (пори, шлакові вclusions, непровари, тріщини). Це дає змогу визначати їхні відносні розміри і координати місця розташування з отриманням документа контролю у вигляді протоколу.

Усі розроблені автоматизовані системи ультразвукового контролю успішно використовуються у промисловості.

Дослідницькі колективи виконують комплекс робіт з удосконалення систем ультразвукового неруйнівного контролю магістральних трубопроводів у польових умовах. Однією з проблем достовірності такого контролю є забезпечення акустичного контакту ультразвукових перетворювачів з контрольованою поверхнею. Акустичний сигнал, дискретний або втрачений, зводить нанівець результати контролю.

Розроблено електромагнітоакустичний метод ультразвукового контролю, де ультразвукові хвилі у металі збуджуються за допомогою перетворювача, що не потребує контактної рідини. Метод не критичний до якості поверхні труби і форми валика посилення шва. Він дає змогу здійснювати контроль і за наявності на поверхні ізоляції завтовшки до кількох міліметрів. Електромагнітоакустичний дефектоскоп успішно пройшов промислові випробування. Сканування перетворювача поверхнею труби і введення ультразвукових хвиль у різних напрямках забезпечує ідентифікацію типу та розміру дефектів у зварних з'єднаннях і матеріалі труби.

Є багато протяжних, закритих трубопроводів, вивчення корозійних ушкоджень яких утруднено через неприступність до ділянок контролю. Це підземні трубопроводи, що проходять під автомобільними і залізничними магістралями, галереї трубних переходів тощо. З цією метою розроблені технологія і засоби хвилеводного низькочастотного ультразвукового контролю протяжних об'єктів під час їхньої експлуатації. На відміну від звичайного УЗК, що використовує випромінювання високої частоти — МГц, новий метод базується на застосуванні низькочастотного випромінювання у діапазоні 20–200 кГц, що дає змогу знаходити корозійні ушкодження металу, віддалені більш як на 50 м від ділянки, де розміщені ультразву-



Рис. 7. Акустоемісійний контроль трубопроводів

кові перетворювачі. Дослідні зразки таких приладів підтвердили ефективність низькочастотної системи ультразвукового контролю у важкодоступних місцях.

Великі можливості для діагностики дає метод акустичної емісії. Розроблені спеціалізовані методики й обладнання на основі його використання. Портативна апаратура

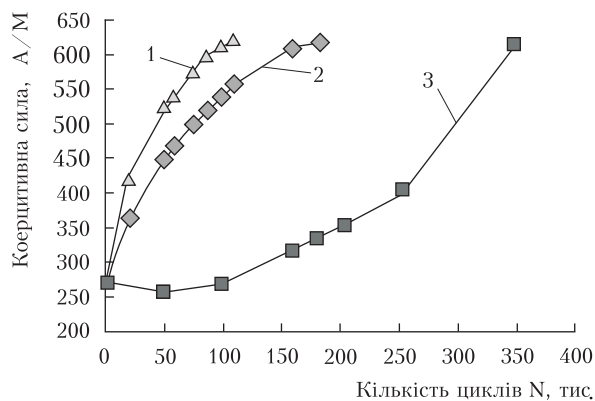


Рис. 8. Залежність величини коерцитивної сили сталі 10Г2С1 від кількості циклів й амплітуди напружень  $\sigma_a$  під час циклічного навантаження, кг/мм<sup>2</sup>: 1 — 39; 2 — 34; 3 — 29

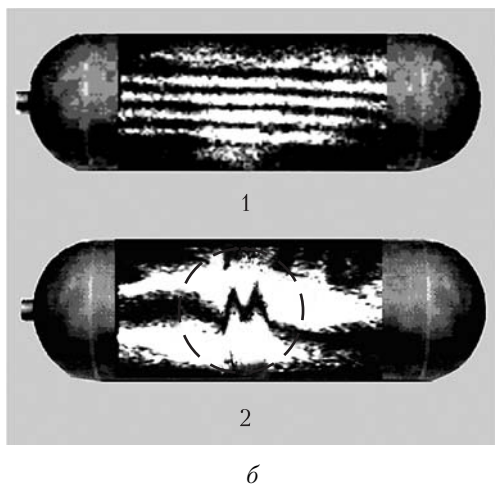


Рис. 9. Неруйнівний контроль якості зварних балонів методом електронної ширографії: а — компактне обладнання; б — картини інтерференційних смуг; 1 — балон без дефектів; 2 — балон з тріщиною у поздовжньому зварному шві

дозволяє здійснювати надійний контроль технічного стану трубопроводів, судин під тиском й інших конструкцій (рис. 7).

Науковці академічних інститутів здійснили широкі дослідження, пов'язані з процесом розпізнавання й аналізу сигналів, що виникають під час деформації та руйнування конструкційних матеріалів. Оскільки руйнування відбувається дискретно, то кожен його етап супроводжується випромінюванням також дискретного характеру.

Імпульси випромінювання несуть інформацію про характер і небезпечність процесу, при цьому здійснюється локація ослаблених зон на ранніх стадіях руйнування. Зіставлення сигналів акустичної емісії з реальними дефектами підтверджує високу достовірність отримуваної інформації.

Акустоемісійним методом уже продіагностовано близько тисячі різних об'єктів. Його перевагою є можливість здійснення стовідсоткового контролю протяжних конструкцій порівняно невеликою кількістю датчиків і визначення небезпечних ситуацій на ранніх стадіях їх появи.

Ця перевага акустоемісійного методу дала змогу створити системи безперервного моніторингу технічного стану об'єктів з підвищеними вимогами до безпечності їхньої експлуатації. Так, розроблені технологія і обладнання застосовані для неперервного моніторингу труби аміакопроводу, що проходить по мосту через Дніпро в районі м. Дніпропетровська. Контролюється 1 км труби датчиками, розташованими на лівому і правому берегах річки по обидва боки мостового прольоту.

Систему акустоемісійної діагностики встановлено на Одеському припортовому заводі. Протягом 15 років вона має забезпечувати неперервний контроль стану ізотермічного сховища аміаку, поверхня якого — 3,5 тис. м<sup>2</sup>. Розміри сховища відображено на рисунку. У нижній його частині показано апаратуру контролю, розміщену безпосередньо біля корпусу



су сховища; пульт контролю і керування експлуатацією розташований у диспетчерській заводу.

Інформація про стан сховища аміаку Інтернетом передається і на київський монітор. Тому в Києві можна у будь-який момент спостерігати й аналізувати всі процеси, що відбуваються у сховищі.

Слід зазначити, що перспективними також є магнітні методи діагностики зварних з'єднань у процесі експлуатації трубопроводів. Уже отримані відомості про чутливість магнітних характеристик до накопичення втомних ушкоджень у конструкційних матеріалах. На рис. 8 показано зміну величини коерцитивної сили трубної сталі під час циклічних випробувань зразків на розтягування. Спостерігаються порогові значення коерцитивної сили, яка характеризує несучу здатність металу. Необхідні цілеспрямовані дослідження в цій ділянці, що допоможе створити ефективний метод оцінки ресурсу зварних конструкцій.

Науковці ІЕЗ розробили методи лазерної інтерферометрії для визначення напружено-деформованих станів і контролю якості зварних з'єднань та конструкцій. Широкі можливості в цьому плані надає метод ширографії, заснований на електронній обробці оптичної інформації. Його важливою перевагою є безконтактність вимірювань і можливість спостереження в реальному масштабі часу картин інтерференційних смуг, що характеризують похідні від мікропереміщень поверхні під впливом заданого навантаження. Як показано на рис. 9, методом електронної ширографії ефективно здійснюють неруйнівний контроль якості зварних балонів для стисненого газу, що слугує паливом для двигунів внутрішнього згоряння на автотранспорті.

В Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона здійснено великий комплекс наукових досліджень зі створення легких металопластикових балонів для транспортних засобів, які використовують стиснений до 20 МПа



*a*



*б*



*в*

*Рис. 10.* Упровадження ремонтних технологій на об'єктах «Укртрансгазу»: *a* – двошарова муфта; *б* – врізка відводу в газопровід під тиском; *в* – компаундна муфта

природний газ метан як паливо. Обґрунтовано можливість заміни дефіцитних трубних заготовок на зварний варіант металевого корпусу, який виготовляється з високоміцної листової сталі. При цьому вальцьована прямошовна обичайка з'єднується кільцевими швами зі штампованими напівсферичними денцями. Найбільш навантажена циліндрова частина корпусу балона зміцнюється додатковою обробкою поздовжнього шва і композиційною оболонкою зі скловолокна чи інших волокон високої міцності. Це дало змогу виготовляти комбіновані балони з масогабаритним показником 0,6 кг/л. За довговічністю (понад 24 тис. циклів навантаження) і більш як триразовим запасом міцності вони не поступаються кращим світовим зразкам.

Фахівці ІЕЗ створили ефективні технології ремонту трубопроводів і приєднання до них відведень під тиском із застосуванням дугового зварювання, що дає змогу скоротити втрати енергоресурсів, забезпечити безпечнішу роботу трубопровідного транспорту і вберегти навколишнє середовище від забруднення за високого рівня безпечності зварювальних робіт і надійності зварних з'єднань. Розроблені технології охоплюють широкий спектр методів ремонту дефектних ділянок лінійної частини трубопроводів в умовах експлуатації і дають можливість:

- відновлювати несучу здатність трубопроводів з корозійно-механічними ушкодженнями;
- посилювати дефектні зварні стики;
- заплавляти корозійні виразки і раковини;
- герметизувати наскрізні дефекти у стінці труби;
- приєднувати відведення у разі підключення споживачів до основної магістралі.

Для кожного технологічного процесу визначено безпечні умови виконання зварювальних робіт, забезпечення якості і надійності зварних з'єднань за робочих навантажень. Встановлено залежності безпечного тиску у трубопроводах від товщини стінки труби в місці зварюван-

ня, величини зварювального струму і швидкості транспортування нафти й газу.

Науковці ІЕЗ ім. Є.О. Патона запропонували нові конструктивно-технологічні схеми посилення схильних до корозії ділянок герметичною муфтою і дефектних зварних стиків трубопроводів двошаровою муфтою. Тому механічні властивості зварних з'єднань відповідають нормативним вимогам.

Доведено, що перехід від з'єднань з кутовим швом до нахльосточно-стикових підвищує довговічність і межу витривалості зварних з'єднань за циклічного і повторно-статичного навантажень.

Із застосуванням цих технологій на об'єктах компанії «Укртрансгаз» відремонтовано близько ста дефектних кільцевих стиків, виконано десятки врізів відведень у діючі газопроводи під тиском і відновлено працездатність великої кількості ділянок з поверхневими корозійними ушкодженнями та корозійними виразками (рис.10).

Складна проблема оперативного ремонту діючих трубопроводів є особливо гострою за умов переходу через водні перешкоди. Для розв'язання цієї проблеми в ІЕЗ створено технологію ремонту магістральних трубопроводів на підводних ділянках, яка базується на застосуванні дугового зварювання безпосередньо у воді. Технологія гарантує безпечність виконання робіт на діючому трубопроводі і достатню якість з'єднань у місцях відновлення.

В Інституті електрозварювання створено спеціалізоване обладнання і гаму електродних матеріалів, призначених для зварювання труб з маловуглецевих і низьколегованих сталей з межею плинності до 490 МПа. Зварювання виконується на глибинах до 20 м. Поверхневі пошкодження ремонтують без вирізання дефектних місць за внутрішнього тиску у трубопроводі до 2,5 МПа. З використанням технології підводного зварювання відремонтовано понад 70 нафто- і газогонів з діаметром до 1020 мм.

Сьогодні гостро актуальними стали проблеми зниження будь-яких видів втрат і підвищення ефективності роботи транспортних енергетичних систем. Так, газотурбінні установки потужністю 16 МВт, що діють на газоперекачувальних станціях для приводу нагнітачів природного газу, викидають в атмосферу теплову енергію, еквівалентну 60–70% усієї споживаної. Коефіцієнт корисної дії таких установок не перевищує 32%. Цю енергію доцільно використовувати для додаткового виробництва електроенергії, що йде на власні потреби і потреби підприємств чи житлових масивів, розміщених поблизу компресорних станцій. За оцінками експертів «Укртрансгазу», сумарна додаткова

електрична потужність, яку можна отримати від утилізації теплової енергії, що виділяється газокompресорними агрегатами України, сягає 1,5 млн кВт. Інший ефективний шлях — це вироблення на компресорних станціях холоду за допомогою установок, які утилізували тепло газотурбінних двигунів. Використання таких установок для охолодження транспортованого газу допоможе приблизно на 8–10% підвищити продуктивність магістральних трубопроводів.

Утилізація теплових вторинних ресурсів на газокompресорних станціях потрібна також для дотримання екологічних вимог, що висуваються до великих енергетичних об'єктів згідно з Кіотським протоколом.

## НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИКОРИСТАННЯ ВУГІЛЛЯ В ЕНЕРГЕТИЦІ

**Ю.П. КОРЧЕВОЙ, академік НАН України,  
Г.Г. ПІВНЯК, академік НАН України**

Електроенергетика є однією з найважливіших галузей господарювання, основою економіки України. Загальна потужність електростанцій, які працюють на Об'єднану енергетичну систему України, становить 53,9 млн кВт.

У 2004 р. виробіток електроенергії електростанціями Мінпаливенерго досяг майже 181 млрд кВт-год, із яких одержано, %:

на атомних електростанціях — 48;

на теплових — 45,5;

на гідроелектростанціях — 6,5;

від нетрадиційних джерел — 0,005.

Як бачимо, у забезпеченні України електроенергією провідну роль відіграє атомна енергетика (табл. 1). При цьому слід пам'ятати, що АЕС працюють у базовому режимі і тому успішно функціонувати можуть тільки у гнучкій комбінації з маневреними типами генерації електроенергії.

Найбільшою маневреністю відзначаються гідроелектростанції, але їхня частка у виробітку електроенергії досить незначна, головне — ми не можемо її істотно збільшити через обмеженість гідроресурсів України.

*Таблиця 1. Структура виробництва електроенергії Об'єднаною енергетичною системою України за роками*

Тип станцій	1991	2000	2004
ТЕС	182,5 / 65,9	76,34 / 44,7	73,34 / 40,5
АЕС	75,13 / 27,2	77,34 / 45,3	87,02 / 48
ГЕС	11,90 / 4,3	11,38 / 6,7	11,75 / 6,5
Блок-станції та комунальні ТЕЦ	7,24 / 2,6	5,67 / 3,3	9,20 / 5,0

*Примітка.* Виробництво електроенергії вітровими двигунами у 2004 р. — 7,7 млн кВт-год; у чисельнику — млрд кВт-год; у знаменнику — %.